

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh technologie výroby hřídele eliptického trenažéru**

Production Technology Proposal of Elliptical Trainer Shaft

Student:

Petr Janál

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Janál**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh technologie výroby hřídele eliptického trenažéru**  
**Production Technology Proposal of Elliptical Trainer Shaft**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Technologie soustružení.
3. Návrh technologie výroby součástí, včetně strojů, nástrojů a časů.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

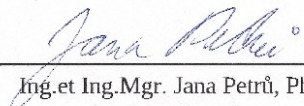
- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

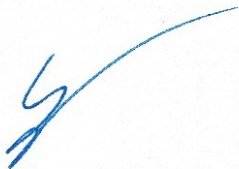
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014

  
Ing.et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

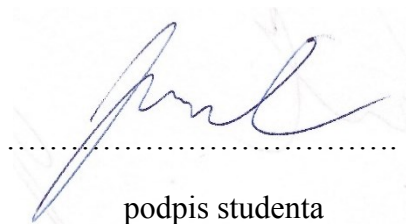


  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 1. května 2014

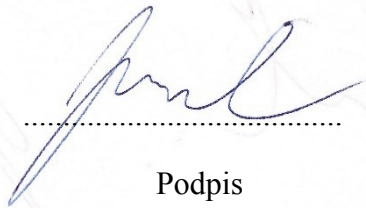


.....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 1. května 2014



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Janál

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dlouhá třída č. p. 1025/63

Havířov – Město, okr. Karviná

736 01

**Poděkování:**

Ve své bakalářské práci bych si dovolil poděkovat panu doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracovávání bakalářské práce.

**ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

JANÁL, P. *Návrh technologie výroby hřídele eliptického trenážerů: bakalářská práce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 46 s. Vedoucí práce: Čep, R.

Tato práce se zabývá návrhem technologického postupu výroby hřídele pro eliptický trenážer. V úvodu bakalářské práce je popsána současná problematika a návrh nové technologie výroby.

Teoretická část se zabývá technologickým rozbořem součástí, rozdělením hřídelů, principem určování obrobiteľnosti a teorii soustružení. Dále je zaměřena na výběr jednotlivých strojů a nástrojů včetně rozboru značení podle ISO.

Závěr bakalářské práce se zabývá vytvořením technologického výrobního postupu a provedení ekonomicko-technického zhodnocení.

**ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

JANÁL, P. *Production Technology Proposal of Elliptical Trainer Shaft: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 46 p. Thesis head: Čep, R.

This thesis describes the design of technological process of the shaft for an elliptical trainer. In the introduction to the thesis describes the current issue and propose new technology.

The theoretical part deals with the analysis of technological components, the distribution of the shafts, the principle determining machinability and turning theory. It is focused on the selection of individual machines and tools, including analysis marking according to ISO.

Conclusions of the thesis is to create a technological manufacturing process and implementation of economic and technical evaluation.

**OBSAH**

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	9
ÚVOD .....	11
1 TECHNOLOGICKÝ ROZBOR SOUČÁSTI.....	12
2 HŘÍDEL .....	13
2.1 Hřídele nosné: .....	13
2.2 Hřídele hybné:.....	13
2.2.1 Normální pohybový hřídel .....	13
2.2.2 Dutý pohybový hřídel .....	14
2.2.3 Drážkový hřídel.....	14
2.2.4 Zalomený (klikový) hřídel .....	14
2.2.5 Ohebný hřídel.....	14
3 MATERIÁL .....	15
4 OBROBITELNOST MATERIÁLU .....	16
4.1 Značení obrobitelnosti: .....	17
5 SOUSTRUŽENÍ .....	19
5.1 Obrobek: .....	19
5.2 Pohyb a rychlost: .....	20
5.3 Nástroj:.....	20
5.4 Soustruh: .....	21
5.4.1 Rozdělení podle konstrukce: .....	21
5.4.2 Rozdělení podle stupně automatizace: .....	22

6	POUŽITÉ STROJE .....	23
7	POUŽITÉ NÁSTROJE .....	24
7.1	Nástroje pro soustružení: .....	24
7.2	Nástroje pro frézování: .....	26
7.3	Nástroje pro vrtání: .....	27
8	TECHNOLOGICKÝ POSTUP .....	27
9	VÝPOČET STROJNÍCH ČASŮ .....	38
9.1	Broušení (zapichovací): .....	38
9.2	Frézování: .....	39
9.3	Podélné soustružení .....	39
9.4	Čelní soustružení: .....	40
9.5	Vrtání: .....	40
10	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	41
11	ZÁVĚR .....	43
12	POUŽITÁ LITERATURA.....	44
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	46



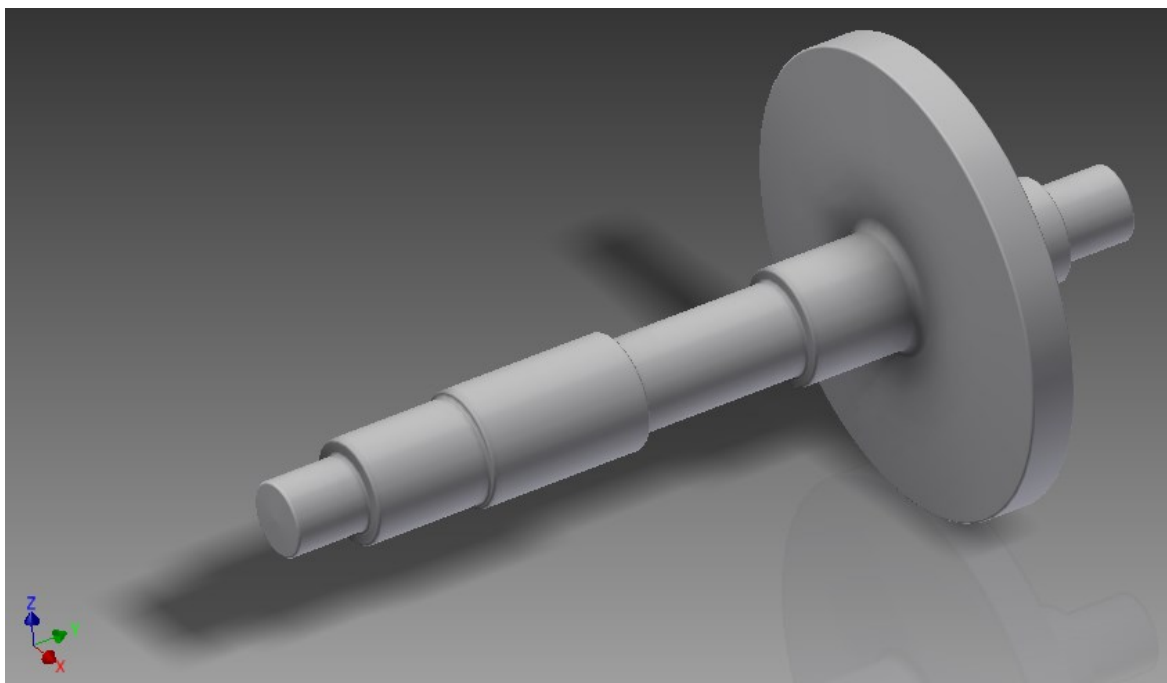
**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

Zkratka	Jednotka	Význam
<b>CNC</b>		Počítačově číslicově řízené obráběcí stroje
<b><math>D</math></b>	$[mm]$	Průměr před obrobením
<b><math>D_f</math></b>	$[mm]$	Průměr frézy
<b><math>D_k</math></b>	$[mm]$	Průměr brusného kotouče
<b><math>D_v</math></b>	$[mm]$	Průměr vrtáku
<b><math>K_v</math></b>		Koeficient obrobitelnosti
<b><math>L</math></b>	$[mm]$	Celková délka záběru
<b><math>N_h</math></b>	$[Kč]$	Cena práce potřebné pro výrobu jedné hřídele
<b><math>N_{hs}</math></b>	$[Kč \cdot hod^{-1}]$	Hodinová sazba provozu stroje
<b><math>T_{as}</math></b>	$[min]$	Jednotkový strojní čas
<b><math>T_p</math></b>	$[min]$	Celkový strojní čas
<b><math>T_v</math></b>	$[min]$	Celkový vedlejší čas
<b>VBD</b>		Vyměnitelná břitová destička
<b><math>R_e</math></b>	$[MPa]$	Mez kluzu
<b><math>R_m</math></b>	$[MPa]$	Mez pevnosti
<b><math>a_p</math></b>	$[mm]$	Hloubka třísky
<b><math>d</math></b>	$[mm]$	Průměr po obrobení
<b><math>f_a</math></b>	$[mm]$	Podélný posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku
<b><math>f_{ot}</math></b>	$[mm]$	Posuv za otáčku
<b><math>f_r</math></b>	$[mm]$	Příčný posuv stolu brusky na 1 podélný zdvih stolu
<b><math>f_{zub}</math></b>	$[mm]$	Posuv na zub
<b><math>i</math></b>		Počet třísek
<b><math>l</math></b>	$[mm]$	Délka záběru
<b><math>l_n</math></b>	$[mm]$	Délka náběhu
<b><math>l_p</math></b>	$[mm]$	Délka přeběhu
<b><math>p</math></b>	$[mm]$	přídavek na broušení
<b><math>n_k</math></b>	$[min^{-1}]$	Otáčky brusného kotouče
<b><math>n_s</math></b>	$[min^{-1}]$	Otáčky obrobku, frézy nebo vrtáku
<b><math>v_c</math></b>	$[m \cdot min^{-1}]$	Řezná rychlost (skutečná)
<b><math>v_f</math></b>	$[mm \cdot min^{-1}]$	Posuvová rychlost

$v_k$	$[m \cdot \min^{-1}]$	Obvodová rychlost brusného kotouče
$v_n$	$[m \cdot \min^{-1}]$	Řezná rychlost (tabulková)
$v_s$	$[m \cdot \min^{-1}]$	Obvodová rychlost obrobku
$\eta$	$[^\circ]$	Úhel výslednice řezné rychlosti
$\varphi$	$[^\circ]$	Úhel posuvového pohybu

## ÚVOD

V této práci se řeší problematika výroby hřídele pro eliptický trenažér. Původní konstrukce byla tvořena hřídelem z tyčového polotovaru s navařenou přírubou. Tyčový polotovaz se obráběl na NC soustruhu, NC frézce a NC hrotové brusce. Před svařováním bylo nutno provést zápich pro svarovou housenku. To mělo za následek že, v teplotně ovlivněné oblasti materiálu docházelo k praskání a tím došlo k úplné destrukci součásti a vyřazení stroje z chodu. Nový návrh spočívá ve vytvoření výkovku celé hřídele (obr 0.1) a následným obrobením do požadovaných konstrukčních rozměrů v obráběcím centru, což nám podstatně sníží vedlejší časy, zvýší hospodárnost výroby a přesnost obrobku. Dokončovací operace ploch pod ložiska budou provedeny na CNC hrotové brusce.



obr. 0.1 výkovek hřídele

## **1 TECHNOLOGICKÝ ROZBOR SOUČÁSTI**

Jedná se o hnací hřídel, na kterou je přiváděn moment z pedálů a ten dál předáván řemenicí za pomoci řemenu na disk.

Řemenice je pevně upevněna za pomoci tří šroubu na přírubu hřídele.

Na čtyřhranech po obou stranách jsou nasazeny křížová ramena, u nichž jsou na jednom z konců uloženy pedály, pravý a levý.

Na závitové části jsou našroubovány matice, které nám zajišťují ochranu proti posuvu.

Na válcové ploše s nejvyšší přesností a drsností budou nasazeny ložiska. Z vnější strany pevně nalisovány do základní konstrukce.

## 2 HŘÍDEL

Hřídel je strojní součást válcovitého tvaru, na které jsou nasazena ozubená kola, řetězová kola, řemenice, kladky, pojezdová kola, spojky, brzdy, zdrže a jiné rotační i nerotační části, např. vačky, výstředné kotouče apod. [1]

### 2.1 Hřídele nosné:

Nosné hřídele lze charakterizovat tím, že nepřenáší žádný točivý moment (výkon). Jsou namáhány pouze na ohyb. Zpravidla na nich bývají uložena pevně nebo otočně ozubená kola, řemenice, pojezdová kola a jiné rotační strojní části. Pokud jsou tyto strojní části uloženy otočně, pak je nosný hřídel pevně uchycen na rámu stroje. Jsou-li rotační strojní části na nosném hřídeli uchyceny pevně, pak musí být nosný hřídel uložen na rámu stroje otočně. [2]

### 2.2 Hřídele hybné:

Slouží k přenosu krouticího momentu z hnacího stroje na hnaný. Zdrojem rotačního pohybu je motor. Nejčastěji se používají elektromotory nebo spalovací motory (vznětové a zážehové). Ve většině případu chceme rozdílné otáčky, než máme na motoru, proto se musí snížit nebo zvýšit. Toho dosáhneme za pomoci převodů třecích, řemenových, řetězových, anebo ozubenými koly. Je-li převod uzavřen v samostatné skříni, jedná se o převodovku. Třecí, řemenová, řetězová i ozubená kola jsou uložena na hřídelích. Abychom zajistili otáčivý pohyb hřídele, musí být uloženy v kluzných nebo valivých ložiskách. Zpravidla se nalisovávají na hřídelové čepy, jejich styčné plochy vyžadují vyšší kvalitu povrchu. Spojení motoru s převodovkou je obvykle provedeno pevnou nebo výsuvnou spojkou. Pro zastavení pracovního stroje, musí být každé hnací zařízení vybaveno brzdou, která nám zajistí okamžité zabrzdění stroje. Hybné hřídele lze pak rozdělit ještě podle provedení na: [2]

#### 2.2.1 Normální pohybový hřídel

Nejčastěji vyráběn soustružením, frézováním a broušením. Jelikož namáhání hřídele se po jeho délce mění, tak i s ním se mění průměr. Nejméně jsou namáhány koncové části hřídelů, proto se volí jejich průměr nejmenší. S každou změnou průměru hřídele vznikají různá osazení, která usnadňují nasazení rotačních částí na hřídel, jako jsou ozubená kola,

řetězová kola, řemenice a jiné strojní části jsou na hřídeli uchyceny svěrnými nebo tlakovými spoji, popř. jsou proti otáčení pojištěny klínem nebo perem. [2]

### 2.2.2 Dutý pohybový hřídel

Využívá mnohem ekonomičtější materiál. Můžeme říct, že při stejné hmotnosti je schopen přenášet větší silové zatížení než hřídel plný. Je to dáno tím, že při namáhání na krut a ohyb je střední část hřídele namáhána mnohem méně než jeho vnější část. Nejvíce je namáhán povrch hřídele, kdežto v ose hřídele je napětí nulové. Využití je výhodné pouze u větších hřídelů nebo u hřídelů s vysokým požadavkem na co nejmenší hmotnost. Proto je nutné provést ekonomickou rozvahu a teprve pak se rozhodnout jaký druh hřídele je pro daný případ výhodnější. [2]

### 2.2.3 Drážkový hřídel

Má po celém svém obvodu umístěny podélné drážky, což je vlastně nahrazení několika per. Můžeme tedy říct, že plní stejnou funkci jako perový spoj. Jelikož nám zajišťuje vyšší tvarový styk, používáme ho pro přenos větších krouticích momentů a tam kde potřebujeme zajistit možnost axiálního posuvu. [2]

### 2.2.4 Zalomený (klikový) hřídel

Slouží k přeměně rotačního pohybu na pohyb přímočarý (pístové čerpadla), nebo k přeměně přímočarého pohybu na pohyb rotační (spalovací motor). [2]

### 2.2.5 Ohebný hřídel

Zhotovuje se z drátu navinutého v několika vrstvách na sobě. Jednotlivé vrstvy jsou vinuty v opačném směru, aby se hřídel neměl tendenci rozmotávat. Umožňuje nám mít rozdílnou polohu konců hřídelů, ohebnost a to i za rotace. Nejčastěji se využívá u ručních brusek. [2]

### 3 MATERIÁL

Hřídel bude vyroben z materiálu (1.0060) 11 600 dle normy ČSN 42 5510.

Je to neušlechtilá konstrukční ocel na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost. Ocel je vhodná na součásti vystavené velkému měrnému tlaku, hřídele, osy, ozubená kola, čepy, řetězová kola, páky, pístnice, kolíky, podpěry, držátka, objímky, šrouby a matice, klíny, pera, kluzné kameny, ozubené hřebeny, kladky, spojky, segmenty a vložky axiálních ložisek, distanční kroužky, různé upínací elementy, tělesa fréz apod. Pásů a pruhů se používá ke tvarování ohybem. [3]

#### Mechanické vlastnosti:

$$R_e = 294 \text{ MPa (Mez pružnosti)}$$

$$R_m = 588 - 706 \text{ MPa (Mez pevnosti)}$$

## 4 OBROBITELNOST MATERIÁLU

Je to schopnost materiálu být obráběný za určitých podmínek. Obecně lze posuzovat podle intenzity otěru, energetických výměn a zatížení, tvorby třísky a koncového povrchu obrobku, mezi nimiž je velmi úzká souvislost. [4]

Z hlediska technologie je jedním z nejdůležitějších hledisek při zpracovávání materiálu některou z metod obrábění. Závisle na ní volíme řezné podmínky. [4]

Absolutní obrobitelnost – je charakterizována buď funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími, nebo určitou velikostí dané veličiny charakterizující obrobitelnost [4]

Relativní obrobitelnost - je charakterizována bezrozměrnými čísly, které udávají poměr velikosti určité veličiny, a sice poměr velikosti této veličiny vztahující se k danému materiálu obrobku a velikosti této veličiny odpovídající referenčnímu materiálu obrobku [4]

$$K_v = \frac{V_{T/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{V_{T/VB} \text{ referenčního materiálu}}$$

$\frac{V_T}{VB}$  zkoušeného materiálu odpovídá  $V_{15zk} [m \times min^{-1}]$ , což je řezná rychlost  $V_c$

při trvanlivosti  $T_n = 15minut$  pro zkoušený materiál

$V_{T/VB}$  referenčního materiálu odpovídá  $V_{15zk} [m \times min^{-1}]$ , což je řezná rychlost  $V_c$

při trvanlivosti  $T_n = 15minut$  pro referenční materiál

### Faktory ovlivňující obrobitelnost:

- Způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu
- Mikrostruktura obráběného materiálu
- Chemické složení obráběného materiálu
- Fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- Metoda obrábění
- Pracovní prostředí
- Geometrie nástroje
- Druh a vlastnosti nástrojového materiálu



#### 4.1 Značení obrobitelnosti:

Jednotlivé konstrukční materiály rozdělujeme do 9 základních skupin, které jsou označeny malými písmeny a-g, v.

a – litiny

b – oceli

c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi)

d – lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku)

e – plastické hmoty

f – přírodní nerostné hmoty

g – vrstvené hmoty

v – tvrzené litiny pro výrobu válců

Každá skupina má svůj referenční materiál s hodnotou indexu obrobitelnosti rovnou 1. Podle tohoto materiálu jsou určovány ostatní relativní obrobitelnosti.

Třídy jsou označovány číslicí 1-20 a jsou umístěny před písmenem určující skupinu (tab. 4.1.1). Jednotlivé skupiny jsou odstupňovány od referenčního materiálu geometrickou řadou s kvocientem  $q = 1,26$  s tím, že referenční materiál má tuto hodnotu rovnou 1. Zjednodušeně lze říci, že s rostoucí třídou obrobitelnost klesá a musíme volit vyšší řezné rychlosti, což vede k rychlejšímu opotřebení nástroje. [4]

Třída	Kv			Třída	Kv		
	vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah		vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah
1b	$1,26^{-13}$	0,050	0,045-0,054	11b	$1,26^{-3}$	0,50	0,45-0,56
2b	$1,26^{-12}$	0,065	0,055-0,069	12b	$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71
3b	$1,26^{-11}$	0,080	0,070-0,089	13b	$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89
4b	$1,26^{-10}$	0,10	0,09-0,11	14b	$1,26^0$	1,00	0,90-1,12
5b	$1,26^{-9}$	0,13	0,12-0,14	15b	$1,26^1$	1,26	1,13-1,41
6b	$1,26^{-8}$	0,16	0,15-0,17	16b	$1,26^2$	1,59	1,42-1,78
7b	$1,26^{-7}$	0,20	0,18-0,22	17b	$1,26^3$	2,00	1,79-2,24
8b	$1,26^{-6}$	0,25	0,23-0,28	18b	$1,26^4$	2,50	2,25-2,82
9b	$1,26^{-5}$	0,32	0,29-0,35	19b	$1,26^5$	3,15	2,83-3,55
10b	$1,26^{-4}$	0,40	0,36-0,44	20b	$1,26^6$	4,00	3,56-4,47

tab. 4.1.1 Hodnoty indexu obrobitelnosti oceli [4]

Podle normy CNN je pro ocel stanoven pouze jeden referenční materiál a to 12 050.1 (14b). V praxi se však ukázalo, že je výhodnější používat rozdílné referenční materiály pro každou jednotlivou třídu obrobitelnosti. Doporučené referenční materiály jsou uvedeny v tabulce 4.1.2.

Třída obrobitelnosti	18b / 1	17b / 2	16b / 3	15b / 4	14b / 5
Etalon	12 010 HB105	11 373 HB130	12 040 HB160	14 220 HB160	12 050 HB190
Třída obrobitelnosti	13b / 6	12b / 7	11b / 8	10b / 9	9b / 10
Etalon	12 050 HB250	12 060 HB250	12 060 HB280	12 061 HB280	15 330 HB350
Třída obrobitelnosti	12b / 21	12b / 22	9b / 23	8b / 24	8b / 25
Etalon	17 020	17 021	17 248	17 238	17 352

tab. 4.1.2 Doporučené referenční materiály [4]

#### Obrobitelnost materiálu 11 600:

12b – soustružení

14b – frézování, vrtání

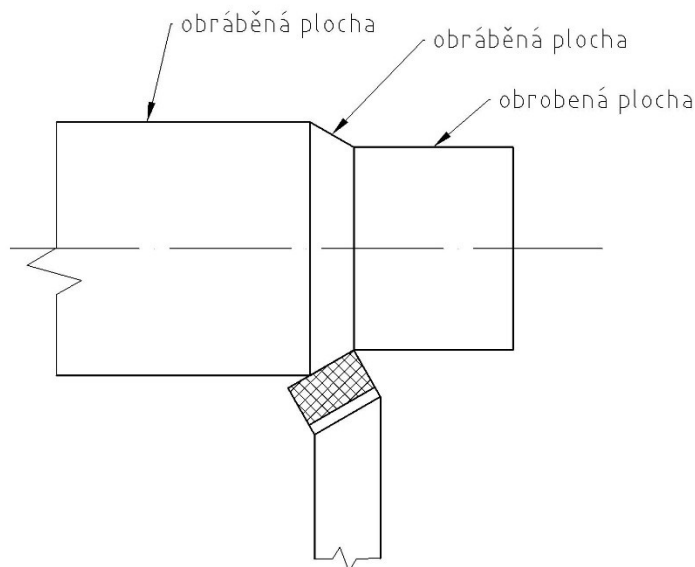
9b – broušení

## 5 SOUSTRUŽENÍ

Je druh třískového obrábění převážně určený pro rotační součásti. Pod pojmem obrábění rozumíme technologický proces, při kterém řezná síla vtlačuje nástroj ve tvaru řezného klínu do povrchu polotovaru a odebírá z něj při vzájemném pohybu polotovaru a nástroje materiál v podobě třísky. [5]

### 5.1 Obrobek:

Rozumíme strojní součást resp. polotovar učený pro obrábění. Z hlediska geometrického je třeba rozdělit povrch součásti (obr. 5.1.1) do 3 částí: [6]



obr. 5.1.1 plochy na obrobku

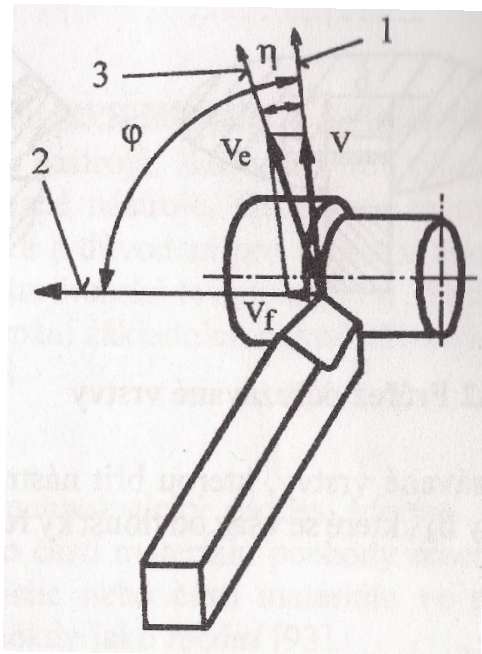
Obráběná plocha - je část obrobku, z které odstraňuje přebytečný materiál.

Obráběná plocha - tvoří přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou. Vzniká při obrábění břitem nástroje a obrobkem.

Obrobená plocha - vznikne odstraněním přídatku na obrábění na požadovanou přesnost a kvalitu povrchu.

## 5.2 Pohyb a rychlost:

Při podélném soustružení uvažujeme o 3 základních pohybech a 2 rychlostech (obr. 5.2.1). [7]



1 - hlavní pohyb koná obrobek, který rotuje a tím spotřebovává nejvíce energie v celé soustavě.

2 - vedlejší pohyb (posuvný) je pak posuv nástroje ve směru kolmém na směr hlavního pohybu.

3 – přísmvny pohyb je vykonáván nástrojem a slouží k nastavení hloubky třísky

$v_c$ - řezná rychlost je přibližně totožná s rychlosti hlavního pohybu. Udává se v  $m \cdot \min^{-1}$  nebo  $m \cdot s^{-1}$  vypočteme ji z jednoduchého vztahu  $v_c = v = \pi \cdot D \cdot n$ , kde  $D$  je průměr obrobku v metrech a  $n$  počet otáček obrobku za minutu.

obr. 5.2.1 plochy na obrobku [7]

$v_f$ - rychlost posuvového pohybu u soustružení se udává v  $mm \cdot \min^{-1}$  a je to relativní posuv obrobku vůči nástroji právě za jednu minutu.

$\eta$  - úhel výslednice řezné rychlosti neboli úhel svírající vektory řezné rychlosti a hlavního pohybu.

$\phi$  - úhel posuvového pohybu neboli úhel svírající vektory posuvu a hlavního pohybu.

## 5.3 Nástroj:

Soustružnické nože jsou nejrozšířenějším nástrojem ve strojírenském průmyslu. Jejich vznik se datuje od 16. století. Tím, že má tak vysokou využitelnost, je také třeba mít širokou paletu nástrojů. Třídění nožů lze provádět podle různých hledisek: [7]

- Konstrukce (monolitní, s pájenou destičkou, s mechanicky upínanou destičkou)
- Tvaru upínací části (čtvercový průřez, obdélníkový průřez, kruhový průřez...)
- Způsobu obrábění (ubírací, zapichovací, upichovací, závitové a tvarové)
- Směru posuvu (pravé, levé)
- Tvaru tělesa nože (přímé, vyhnuté)
- Typu obráběcího stroje
- Geometrie břitu

#### 5.4 Soustruh:

Je to velmi starý druh stroje, jeho zastoupení v průmyslu patřilo a patří k nejhodnotnějším, zejména kvůli jeho univerzálnosti. Lze na něm provádět kromě soustružení také vrtání, dokončování brusnými kameny a v dnešní době pomocí hnané nástrojové hlavy frézování.

##### 5.4.1 Rozdělení podle konstrukce:

Hrotové – využita pro malosériovou a kusovou výrobu.

- a) Univerzální – široké spektrum využití, dané širokým rozsahem otáček a posuvů. Kromě vodící tyče sloužící k přímým, či příčným posuvům, obsahuje také vodící šroub umožňující řezat závity. Kuželové plochy lze vytvořit vyosením koníku nebo natočením nožové hlavy. Pro dlouhé a štíhlé závity je zapotřebí kuželového pravítka. [8]
- b) Jednouúčelové – převážné využití pro hrubovací práce, nemají vodící šroub. [8]

Revolverové – využívá se pro větší počet nástrojů, nejčastěji s kruhovým průřezem upínací části. Upínací hlava připomíná tvar revolverového zásobníku, z toho odvozen název. Hlavní využití pro tvarově složitější součásti, na jejichž výrobu je třeba více jednoduchých nástrojů. [8]

Čelní – slouží k výrobě přírubových součástí jako setrvačníky a lanové kotouče. Vyznačují se velkými průměry a malou výškou, proto se jejich upnutí realizuje pomocí lícní desky s radiálními drážkami a představitelnými čelistmi. [8]

Svislé (karusely) – obrobek je upnut ve svislé ose, tím je možno obrábět součásti o větší hmotnosti, které svou váhou ještě podporují upnutí. Oproti vodorovné ose, kde jsou limity z důvodu působení tíhové síly. Vyrábí se v provedení jedno stojanové (do průměru stolu 2m) a dvou stojanové (do průměru stolu 2m). [8]

Speciální – jsou určeny pro speciální soustružnické práce jako výroba tvarových fréz, kde jednotlivá čela zubu mají tvar Archimedovy křivky, která vznikne tzv. podtáčením zubu. Toho docílíme, když nástroj pomocí vaček vykonává přímočarý vratný pohyb. Další využití je třeba pro výrobu klikových hřídelů. [8]

#### 5.4.2 Rozdělení podle stupně automatizace:

Ručně ovládané – celý proces obrábění je řízen ručně soustružníkem.

Poloautomaty – proces automatizace je realizován pomocí vaček. Obsluha stroje upíná nařezaný polotovar, popřípadě ho přepíná. Stará se o výměnu otupených nástrojů.

Automaty – celý proces obrábění je řízen počítačem, obsluha provádí jen výměnu tyčového polotovaru a odebírá hotový obrobek.

## **6 POUŽITÉ STROJE**

### CNC soustruh Johnford model sl-50A

Jedná se o plně automatizovaný CNC soustruh (příloha 3) vybavený chlazením řídicího systému, automatickým mazáním s alarmem, halogenovým osvětlením a dopravníkem třísek. Stroj je plně krytován a také vybaven hnanými nástroji (C osa). Pro výrobu hřídele (příloha 1) bude pomocí hnané frézy vytvořen čtyřhran a pomocí vrtáku díry v přírubě. Pro úpravu vložených programů je stroj vybaven LCD obrazovkou s ovládacími prvky. Dále je stroj vybaven nástrojovou sondou, automatickým odebíráním obrobků a podavačem tyčového materiálu, který je pro náš případ nevyužitelný. Obrobky se upínají do 3 čelistového sklíčidla, za pomoci koníku je možno podpořit upnutí hrotem. Pro tyče s větší štíhlostí se využívá hydraulické lunety. [9]

### Univerzální hrotová bruska UB 25 CNC

Univerzální hrotová bruska (příloha 4) je určena pro obrábění do kulata o maximálním průměru 250 mm a délce 1 000 mm. Upínání je řešeno letmo ve sklíčidle v unášecím vřeteníku nebo mezi hroty. Při upnutí mezi hroty je možné brousit obrobky válcovité, kuželovité a tvarové s využitím lineární a kruhové interpolace. Stroj lze plně naprogramovat anebo jej řídit ručně. Velikost brusného kotouče lze volit podle potřeby, ten je pak automaticky vyvažován. Celý proces broušení se provádí v uzavřené kapotáži stroje s vnitřním odsáváním. [10]

Na stroji je možno využít cyklu podélného broušení, zapichovacího broušení, broušení postupným zápichem, broušení většího počtu různých průměrů na jedno upnutí a oscilace stolu, tvarové orovnění a meziorovnění s automatickou kompenzací úbytku kotouče. [10]

## 7 POUŽITÉ NÁSTROJE

### 7.1 Nástroje pro soustružení:

Volba nástroje a řezných podmínek je závislá na obráběném materiálu. Pro sériovou výrobu se nejčastěji využívá nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD). Průřez a tvar držáku je volen s ohledem na velikost VBD, způsob upnutí a možnostech obráběcího stroje. Podle prováděné operace se vybírá břitová destička. Rádus destičky se vybírá co největší. Je to dáno tím, že s větším poloměrem lze použít vyšší posuvy a roste nám odolnost proti plastické deformaci. Zároveň se zvyšují požadavky na tuhost soustavy stroj- nástroj- obrobek. [11]

Všechny držáky a VBD se musí řídit systémem značení podle ISO. Pro vnější a vnitřní soustružení je tvořen devíti parametry a jedním doplňkovým od výrobce. Každá skupina nástrojů má své specifické parametry (příloha 5).

- Nástroj pro vnější soustružení podélné a čelní se bude skládat z držáku (tab. 7.1.1), osazeného břitovou destičkou (tab. 7.1.2) pro hrubování a břitovou destičkou (tab. 7.1.3) pro hlazení. [11]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	C	L	N	D	16	16	H	9	-
<b>Specifikace parametru:</b>									
1 - způsob upínání					6 - výška držáku				
2 - Tvar destičky					7 - šířka držáku				
3 - Tvar nože (úhel nastavení)					8 - celková délka				
4 - úhel hřbetu					9 - velikost destičky				
5 - Směr řezu					10 - údaje výrobce				

tab. 7.1.1 Držák pro vnější soustružení

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	N	M	G	09	03	08	E	R	FM
<b>Specifikace parametru:</b>									
1 - tvar destičky					6 - tloušťka				
2 - úhel hřbetu					7 - radius špičky				
3 - tolerance					8 - provedení řezné hrany				
4 - provedení					9 - směr posuvu				
5 - délka řezné hrany					10 - utvařeč				

tab. 7. 1.2 VBD hrubování



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	N	M	G	09	03	04	E	R	FM
<b>Specifikace parametru:</b>									
1 - tvar destičky					6 - tloušťka				
2 - úhel hřbetu					7 - rádius špičky				
3 - tolerance					8 - provedení řezné hrany				
4 - provedení					9 - směr posuvu				
5 - délka řezné hrany					10 - utvařeč				

tab. 7. 1.3 VBD hlazení

- Nástroj pro vnější zapichování se bude skládat z držáku (tab. 7.1.4), osazeného břitovou destičkou (tab. 7.1.5). [11]

1	2	3	4	5	6	7	8	9 - 11
G	F	K	L	D	16	16	02	-
<b>Specifikace parametru:</b>								
1 - způsob upínání					6 - šířka držáku			
2 - úhel nastavení					7 - délka			
3 - maximální hloubka zapichování					8 - šířka destičky			
4 - verze (pravý/ levý)					9 - směr zakřivení planžety			
5 - výška držáku					10 - maximální průměr			
					11 - minimální průměr			

tab. 7. 1.4 Držák pro vnější zapichování

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	C	M	F	02	20	02	-	-	M2
<b>Specifikace parametru:</b>									
1 - tvar destičky					6 - tloušťka				
2 - úhel hřbetu					7 - rádius špičky				
3 - tolerance					8 - provedení řezné hrany				
4 - provedení					9 - směr posuvu				
5 - délka řezné hrany					10 - utvařeč				

tab. 7. 1.5 VBD pro vnější zapichování

- Nástroj pro vnější závitování se bude skládat z držáku (tab. 7.2.6), osazeného břitovou destičkou (tab. 7.2.7). [11]

1	2	3	4	5	6	7	8
S	E	R	L	2020	K	16	0
<b>Specifikace parametru:</b>							
1 - způsob upínání				5 - rozměry držáku			
2 - způsob obrábění				6 - celková délka			
3 - směr řezu				7 - velikost destičky			
4 - způsob provedení				8 - úhel l			

tab. 7. 1.6 Držák pro vnější závitování

1	2	3	4	5	6	7	8
T	N	16	E	R	150	M	ZZ
<b>Specifikace parametru:</b>							
1 - tvar destičky				5 - provedení destičky			
2 - úhel hřbetu				6 - stoupání závitu			
3 - délka řezné hrany				7 - profil závitu			
4 - vnitřní nebo vnější				8 - utvařec			

tab. 7. 1.7 VBD pro vnější závitování

## 7.2 Nástroje pro frézování:

Frézování je metoda, pomocí níž obrábíme tvarové či rovinné plochy pomocí rotačního vícebřitého nástroje – frézy. Většinou se provádí na stroji – frézce. V tomto případě bude fréza upnuta v nástrojové hlavě CNC soustruhu s hnanými nástroji. [12]

Frézy lze rozdělit podle pěti hledisek:

- podle ploch na nichž leží ostří: válcové, čelní, čelní válcové, kotoučové, úhlové, tvarové
- podle průběhu ostří: s ostřím přímým, rovnoběžným s osou otáčení, s ostřím šikmým mimoběžným s osou rotace, s ostřím šroubovitým – ve šroubovici a se střídavým šroubovitým ostřím
- podle způsobu upínání: s válcovou stopkou, Morseho kužel, nástrčné frézy
- podle směru otáčení: pravořezné a levořezné
- podle konstrukce: monolitní, složené a frézovací hlavy

- Pro výrobu čtyřhranu na válcové ploše je zvolena stopková fréza do rohu (příloha 6) skládající se z držáku (tab. 7.2.1) osazeného čtyřmi břity (tab. 7.2.2) ze slinutého karbidu. Pro každou frézu je učená sada VBD, které lze použít. [13]

1	1a	3	4	2a	3a	4a	5	7	8	11	10
16	A	2	R	42	B	25	S	A	D	11	E
Specifikace parametru:											
1 - řezný průměr						4a - velikost stopky					
1a - typ frézy a úhel nastavení						5 - způsob upínání					
3 - pracovní počet ostří						7 - tvar destičky					
4 - směr řezu						8 - úhel hřbetu					
2a - délka vyložení						11 - délka břitu					
3a - typ upínací stopky						10 - úhel hřbetu					

tab. 7.2.1 Držák pro stopkovou frézu

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	D	M	X	11	T3	4	S	R
Specifikace parametru:								
1 - tvar destičky					6 - tloušťka			
2 - úhel hřbetu					7 - úhel hřbetu fazetky			
3 - tolerance					8 - provedené řezné hrany			
4 - provedení					9 - směr posuvu			
5 - délka řezné hrany								

tab. 7.2.2 VBD pro stopkovou frézu

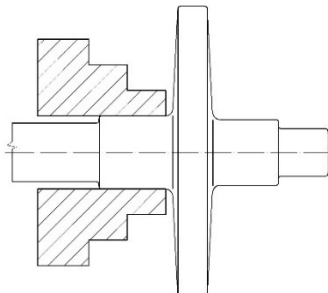
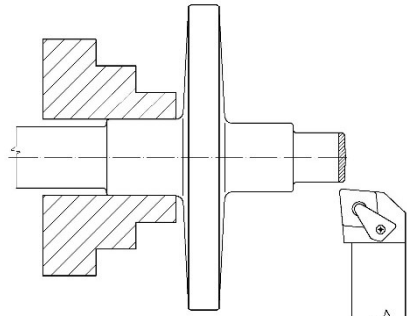
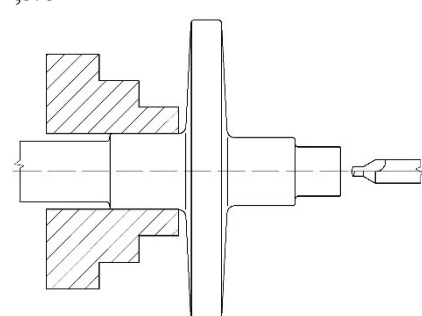
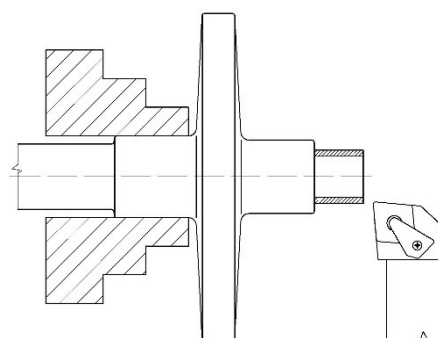
### 7.3 Nástroje pro vrtání:

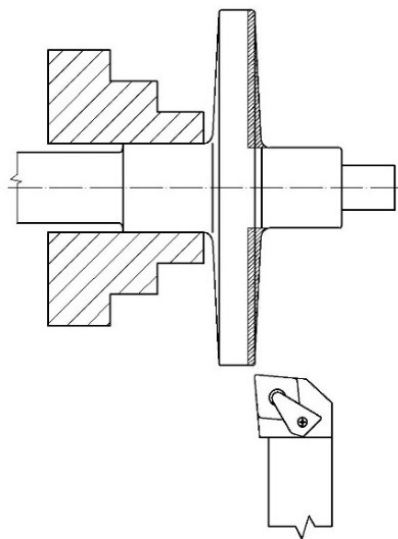
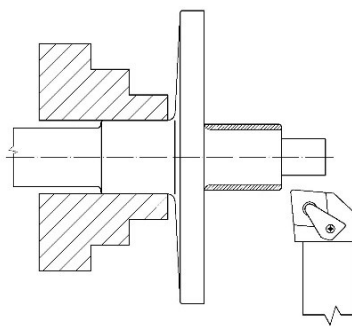
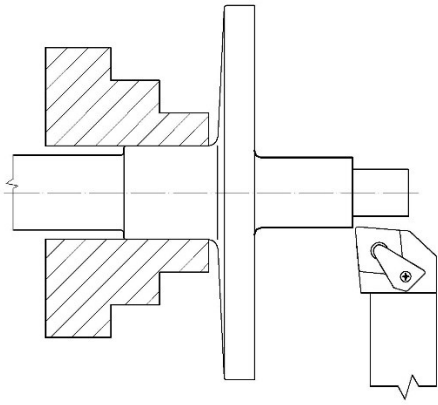
- K vytvoření otvorů v přírubě je zvolen monolitní vrták (příloha 7) o průměru 9 mm (tab. 7.3.1). [14]

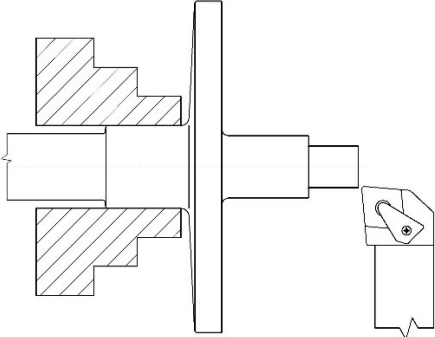
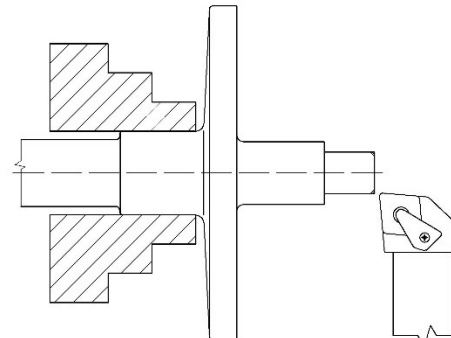
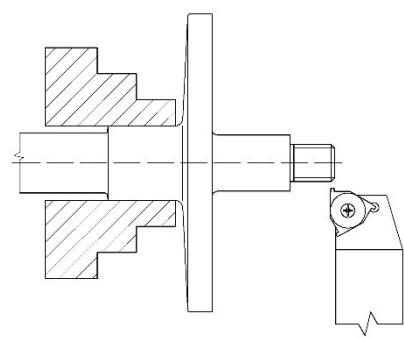
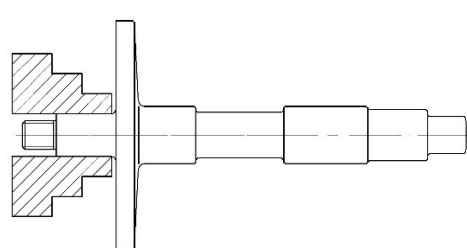
1	2	3	4	5	6	8	9
3	03	D	S	9,0	35	A	10
Specifikace parametru:							
1 - druh nástroje				5 - řezný průměr			
2 - přibližná délka				6 - maximální hloubka vrtání			
3 - provedení				8 - typ stopky			
4 - chlazení				9 - průměr stopky			

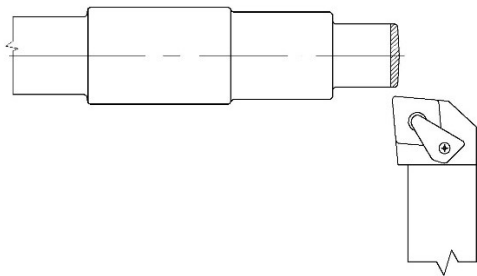
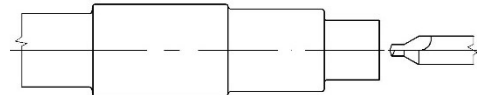

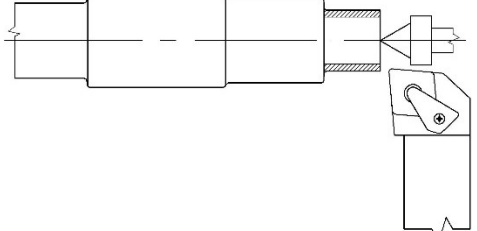
tab. 7.3.1 monolitní vrták

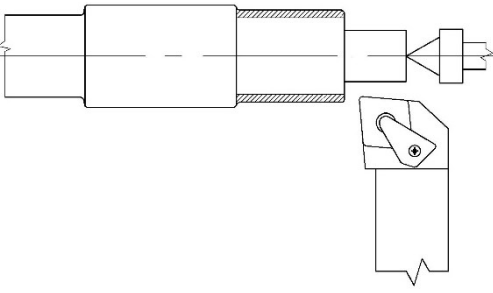
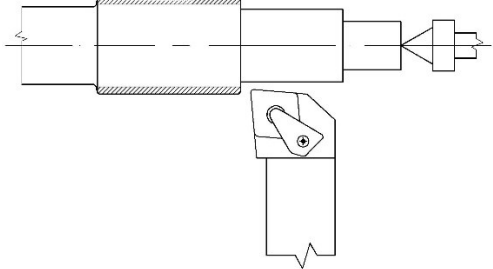
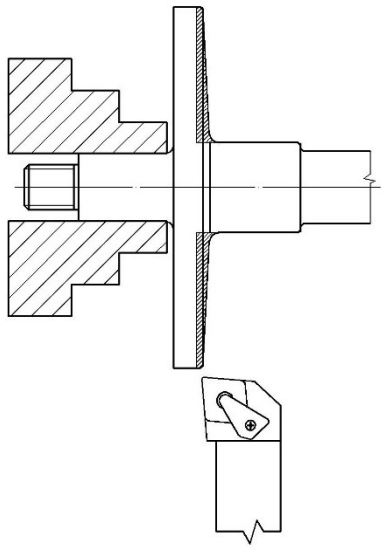
## 8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.00 4116	Soustružení	CNC soustruh Johnford model sl-50	
1.01 4116	Upnutí do sklíčidla Ø16x19 	3- čelistové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B	
1.02 4116	Zarovnání čela Ø13x13,5 na délku 12mm 	3- čelistové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 0,75 \text{ mm}$ $i = 2$ $L = 10 \text{ mm}$ $D = 13 \text{ mm}$ $d = 0 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$ $v_c = 133 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,02 \text{ min}$
1.03 4116	Navrtání středícího důlku dle ISO 6411-A 2,5/5 	3- čelistové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Vrták středící A 2,5 ČSN 221110	$a_p = 1,25 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 5 \text{ mm}$ $D = 2,5 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,05 \text{ mm}$ $v_c = 31 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,058 \text{ min}$
1.04 4116	Hrubování Ø13mm na Ø11mm po délce od čela 12mm 	3- čelistové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 1 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 15 \text{ mm}$ $D = 13 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$ $v_c = 133 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,015 \text{ min}$

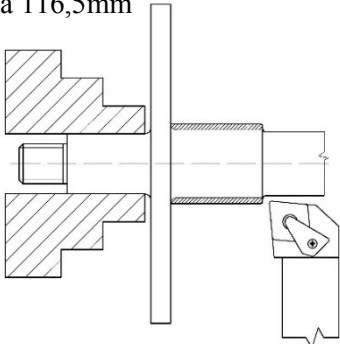
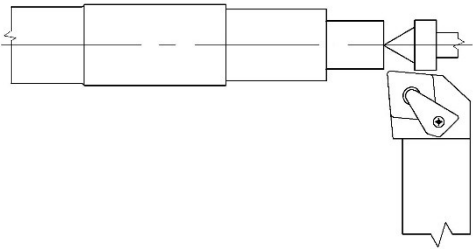
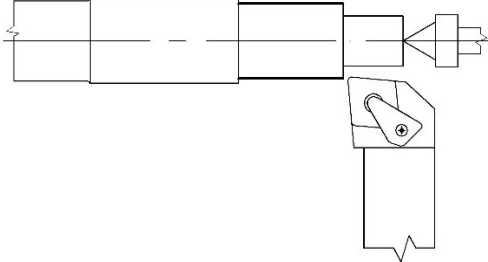
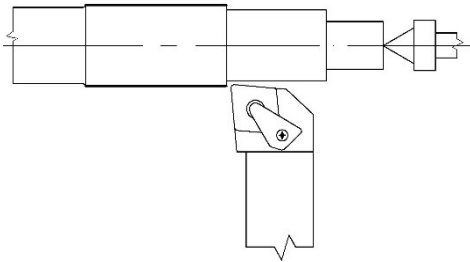
Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.05 4116	Zarovnání příruby $\varnothing 80/\varnothing 20$ na délku 33mm od čela 	3-čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_{p1} = 2\text{ mm}$ $i = 2$ $D = 80\text{ mm}$ $d = 20\text{ mm}$ $L = 33\text{ mm}$ $f_{ot} = 0,45\text{ mm}$ $v_c = 96\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $T_{as} = 0,384\text{ min}$  $a_{p2} = 1\text{ mm}$ $i = 1$ $D = 80\text{ mm}$ $d = 20\text{ mm}$ $L = 33\text{ mm}$ $f_{ot} = 0,2\text{ mm}$ $v_c = 168\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $T_{as} = 0,247\text{ min}$
1.06 4116	Hrubování $\varnothing 18\text{ mm}$ na $\varnothing 16\text{ mm}$ po délce od čela 33mm 	3-čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_p = 1\text{ mm}$ $i = 1$ $L = 25\text{ mm}$ $D = 18\text{ mm}$ $f_{ot} = 0,35\text{ mm}$ $v_c = 126\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,032\text{ min}$
1.07 4116	Na čisto $\varnothing 16\text{ mm}$ na $\varnothing 15\text{ mm}$ po délce od čela 33mm 	3-čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_p = 0,5\text{ mm}$ $i = 1$ $L = 25\text{ mm}$ $D = 16\text{ mm}$ $f_{ot} = 0,14\text{ mm}$ $v_c = 208\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,043\text{ min}$

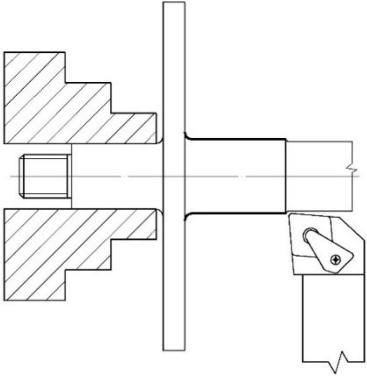
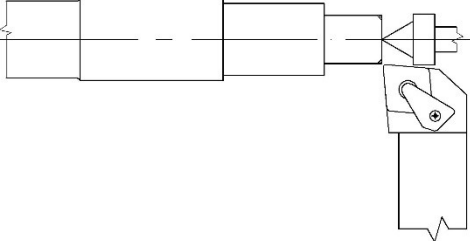
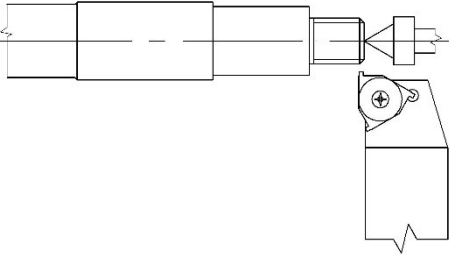
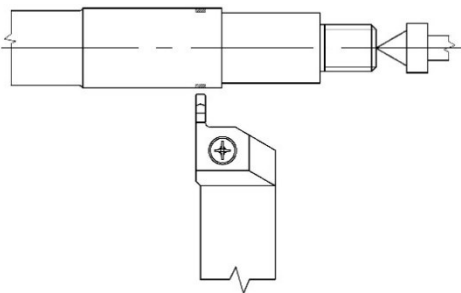
Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.08 4116	Na čisto Ø11 mm na Ø10mm po délce od čela 12mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 0,5 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 15 \text{ mm}$ $D = 11 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,22 \text{ mm}$ $v_c = 186 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,013 \text{ min}$
1.09 4116	Sražení hrany 1x45° na Ø10 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	
1.10 4116	Závit na ploše Ø10mm do délky od čela 11mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák SER/L 2020 K 16  VBD TN 16ER090ZZ	$a_p = 0,3 \text{ mm}$ $i = 3$ $L = 15 \text{ mm}$ $D = 10 \text{ mm}$ $f_{ot} = 1,5 \text{ mm}$ $v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,094 \text{ min}$
1.11 4116	Otočení, upnutí obrobku do sklíčidla za Ø16mm na délce 19 mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B	

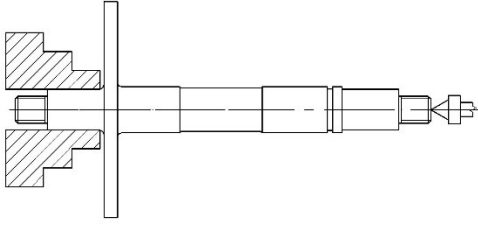
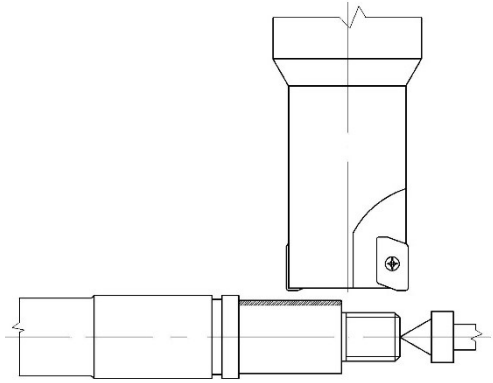
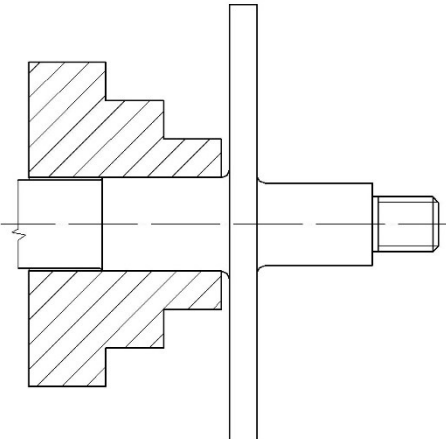
Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.12 4116	Zarovnání čela Ø13x13,5 na délku 12mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 0,75\text{mm}$ $i = 2$ $L = 10\text{mm}$ $D = 13\text{mm}$ $d = 0\text{mm}$ $f_{ot} = 0,3\text{ mm}$ $v_c = 133\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,02\text{ min}$
1.13 4116	Navrtání středícího důlku dle ISO 6411-A 2,5/5 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Vrták středící A 2,5 ČSN 221110	$a_p = 1,25\text{ mm}$ $i = 1$ $L = 5\text{mm}$ $D = 2,5\text{mm}$ $f_{ot} = 0,05\text{ mm}$ $v_c = 31\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,058\text{ min}$
1.14 4116	Podepření koníkem 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41	
1.15 4116	Hrubování Ø13mm na Ø11mm po délce od čela 12mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 1\text{ mm}$ $i = 1$ $L = 15\text{ mm}$ $D = 13\text{ mm}$ $f_{ot} = 0,3\text{ mm}$ $v_c = 133\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,015\text{ min}$

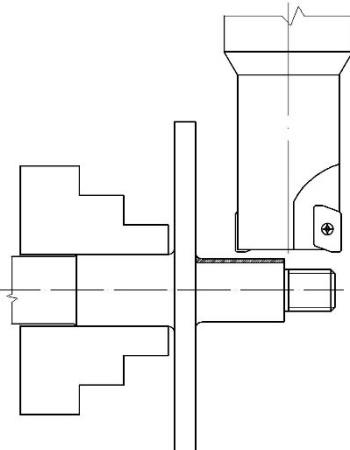
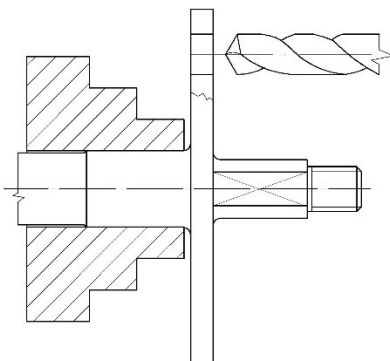
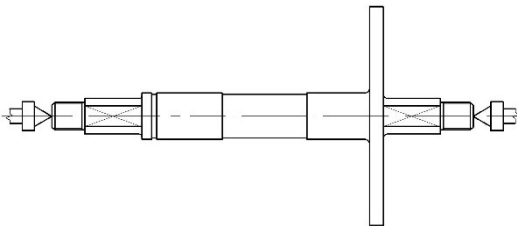
Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.16 4116	Hrubování Ø18mm na Ø16mm po délce od čela 33mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_p = 1 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 25 \text{ mm}$ $D = 18 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,35 \text{ mm}$ $v_c = 126 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,032 \text{ min}$
1.17 4116	Hrubování Ø20mm na Ø18mm po délce od čela 33mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_p = 1 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 35 \text{ mm}$ $D = 20 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,4 \text{ mm}$ $v_c = 122 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,045 \text{ min}$
1.18 4116	Zarovnání příruby Ø80/ Ø20 na délku 33mm od čela 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_{p1} = 2 \text{ mm}$ $i = 2$ $D = 80 \text{ mm}$ $d = 20 \text{ mm}$ $L = 33 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,45 \text{ mm}$ $v_c = 96 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $T_{as} = 0,384 \text{ min}$  $a_{p2} = 1 \text{ mm}$ $i = 1$ $D = 80 \text{ mm}$ $d = 20 \text{ mm}$ $L = 33 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,2 \text{ mm}$ $v_c = 168 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $T_{as} = 0,247 \text{ min}$

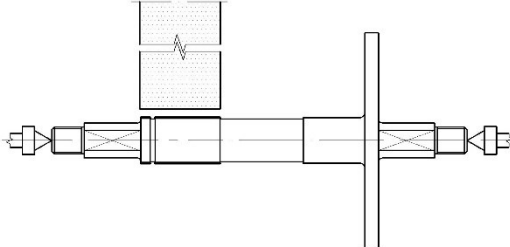
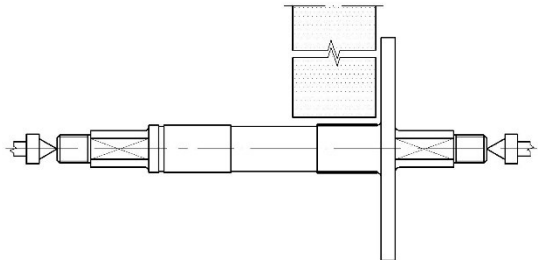


Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.19 4116	Hrubování Ø20mm na Ø18mm po délce od čela 116,5mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 1 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 25 \text{ mm}$ $D = 20 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,4 \text{ mm}$ $v_c = 122 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,032 \text{ min}$
1.20 4116	Na čisto Ø11 mm na Ø10mm po délce od čela 12mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 0,5 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 15 \text{ mm}$ $D = 11 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,22 \text{ mm}$ $v_c = 186 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,013 \text{ min}$
1.21 4116	Na čisto Ø16 mm na Ø15mm po délce od čela 33mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 0,5 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 25 \text{ mm}$ $D = 16 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,14 \text{ mm}$ $v_c = 208 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,043 \text{ min}$
1.22 4116	Na čisto Ø18 mm na Ø17,2mm po délce od čela 62,5mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E- FF	$a_p = 0,4 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 35 \text{ mm}$ $D = 18 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,15 \text{ mm}$ $v_c = 218 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,061 \text{ min}$

Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
1.23 4116	Na čisto Ø18 mm na Ø17,2mm po délce od čela 116,5mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	$a_p = 0,4 \text{ mm}$ $i = 1$ $L = 25 \text{ mm}$ $D = 18 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,15 \text{ mm}$ $v_c = 218 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,043 \text{ min}$
1.24 4116	Sražení hrany 1x45° na Ø10 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák DCLNR/L 1616 H 09  VBD CNMG 120404E-FF	
1.25 4116	Závit na ploše Ø10mm do délky od čela 11mm 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák SER/L 2020 K 16  VBD TN 16ER090ZZ	$a_p = 0,3 \text{ mm}$ $i = 3$ $L = 15 \text{ mm}$ $D = 10 \text{ mm}$ $f_{ot} = 1,5 \text{ mm}$ $v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,094 \text{ min}$
1.26 4116	Zápich šířky 2mm z Ø17,2 na Ø16,2 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Soustružnický hrot dlouhý DML-41  Držák GFKR/L 1616 H 02  VBD LCMF 022002-M2	$a_p = 2 \text{ mm}$ $i = 1$ $D = 17,2 \text{ mm}$ $d = 16,2 \text{ mm}$ $L = 5 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$ $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  $T_{as} = 0,023 \text{ min}$

Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
2.00 4116	Frézování a vrtání	CNC soustruh Johnford model sl-50	
2.01 4116	Uzamknutí vřetena a nastavení krokování po 90° s podepřením koníku 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B	
2.02 4116	Čtyřhran 13x13 z Ø15 po délce 21 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B Držák 25A4R042B25-SAD11E-C VBD ADMX 11T304SR-F	$a_p = 1 \text{ mm}$ $i = 4$ $L = 40 \text{ mm}$ $D_f = 25 \text{ mm}$ $f_{zub} = 0,07 \text{ mm}$ $v_c = 38 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $z = 4$  $T_{as} = 1,182 \text{ min}$
2.03 4116	Otočení obrobku a upnutí do sklíčidla za Ø17,2x21,5 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B	

Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
2.04 4116	Čtyřhran 13x13 z Ø15 po délce 19,5 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Držák 25A4R042B25- SAD11E-C  VBD ADMX 11T304SR-F	$a_p = 1 \text{ mm}$ $i = 4$ $L = 40 \text{ mm}$ $D_f = 25 \text{ mm}$ $f_{zub} = 0,07 \text{ mm}$ $v_c = 38 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $z = 4$  $T_{as} = 1,182 \text{ min}$
2.05 4116	Vrtání 3 děr Ø9 na roztečném Ø60 	3- čelist'ové sklíčidlo s průchozím otvorem TF-3B  Vrták 303DA 9,0 – 35 - 10A	$a_p = 4,5 \text{ mm}$ $i = 3$ $L = 12 \text{ mm}$ $D = 9 \text{ mm}$ $f_{ot} = 0,12 \text{ mm}$ $v_c = 29 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $z = 4$  $T_{as} = 2,8 \text{ min}$
3.00 5510	Broušení	Univerzální hrotová bruska UB 25 CNC	
3.01 5510	Upnutí mezi hroty 	Soustružnický hrot dlouhý DML-41	

Číslo operace/ pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Řezné podmínky
3.02 5510	Zapichovací broušení $\varnothing 17,2 / \varnothing 17h6x29,5$ 	Kotouč brusný 200x32x32-85x16mm 99BA60K9V40  Soustružnický hrot dlouhý DML-41	$D_k = 200 \text{ mm}$ $B = 32 \text{ mm}$ $L = 21 \text{ mm}$ $p = 0,2 \text{ mm}$ $f_a = 16 \text{ mm}$ $f_r = 0,008 \text{ mm}$ $v_o = 5 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ $v_k = 32 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$  $T_{as} = 0,176 \text{ min}$
3.03 5510	Zapichovací broušení $\varnothing 17,2 / \varnothing 17h6x21$ 	Kotouč brusný 200x32x32-85x16mm 99BA60K9V40  Soustružnický hrot dlouhý DML-41	$D_k = 200 \text{ mm}$ $B = 32 \text{ mm}$ $L = 21 \text{ mm}$ $p = 0,2 \text{ mm}$ $f_a = 16 \text{ mm}$ $f_r = 0,008 \text{ mm}$ $v_o = 5 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ $v_k = 32 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$  $T_{as} = 0,176 \text{ min}$
4.00 9863	Kontrola rozměrů dle zadaného výkresu součásti		
5.00 9913	Konzervace a balení	Mazací tuk  Balící papír	
6.00 9924	Expedice	Paletový vozík	

## 9 VÝPOČET STROJNÍCH ČASŮ

### 9.1 Broušení (zapichovací):

$D_k = 200 \text{ mm}$  (průměr brusného kotouče)

$D = 17,2 \text{ mm}$  (průměr obrobku před obrobením)

$d = 17h6 \text{ mm}$  (průměr obrobku po obrobení)

$p = 0,2 \text{ mm}$  (přídavek na broušení)

$L = 21 \text{ mm}$  (celková délka broušené plochy)

$v_k = 32 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$  (obvodová rychlost brusného kotouče)

$n_k = \frac{v_k}{\pi \times D_k} = \frac{32}{\pi \times 0,40} \cong 25 \text{ s}^{-1}$  (otáčky brusného kotouče)

$v_s = 5 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$  (obvodová rychlost obrobku)

$n_s = \frac{v_k}{\pi \times D_k} = \frac{5}{\pi \times 0,017} \cong 93 \text{ s}^{-1}$  (otáčky obrobku)

$B = 32 \text{ mm}$  (šířka brusného kotouče)

$f_a = 0,5 \times B = 16 \text{ mm}$  (podélný posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku)

$f_r = 0,008 \text{ mm}$  (příčný posuv stolu brusky na jeden podélný zdvih stolu)

$$T_{as} = \frac{L \times p}{2 \times f_a \times n_s \times f_r} = \frac{21 \times 0,2}{2 \times 16 \times 93 \times 0,008} = 0,176 \text{ min}$$

## 9.2 Frézování:

$$a_p = 1 \text{ mm (hloubka třísky)}$$

$$D_f = 25 \text{ mm (průměr frézy)}$$

$$L = l_n + l + l_p = 14 + 13 + 13 = 40 \text{ mm (délka záběru s } l_n \text{ náběhem a } l_p \text{ přeběhem)}$$

$$i = 4 \text{ (počet třísek)}$$

$$f_{\text{zub}} = 0,07 \text{ mm (posuv)}$$

$$v_n = 32 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (tabulková řezná rychlost)}$$

$$v_c = v_n \times k_v = 32 \times 1,15 = 38 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (skutečná řezná rychlost)}$$

$$n_s = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_f} = \frac{38 \times 1000}{\pi \times 25} = 483 \text{ mm (otáčky frézy)}$$

$$z = 4 \text{ (počet zubu)}$$

$$T_{\text{as}} = \frac{L \times i}{f \times n_s \times z} = \frac{40 \times 8}{0,07 \times 483 \times 4} = 1,182 \text{ min}$$

## 9.3 Podélné soustružení

$$a_p = 1 \text{ mm (hloubka třísky)}$$

$$D = 13 \text{ mm (průměr před obrobením)}$$

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 13 + 0 = 15 \text{ mm (délka záběru s } l_n \text{ náběhem a } l_p \text{ přeběhem)}$$

$$i = 1 \text{ (počet třísek)}$$

$$f_{\text{ot}} = 0,3 \text{ mm (posuv)}$$

$$v_n = 166 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (tabulková řezná rychlost)}$$

$$v_c = v_n \times k_v = 166 \times 0,8 = 133 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (skutečná řezná rychlost)}$$

$$n_s = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{133 \times 1000}{\pi \times 13} = 3258 \text{ min}^{-1} \text{ (otáčky obrobku)}$$

$$T_{\text{as}} = \frac{L \times i}{f \times n_s} = \frac{15 \times 1}{0,3 \times 3258} = 0,015 \text{ min}$$

#### 9.4 Čelní soustružení:

$$a_p = 0,75 \text{ mm (hloubka třísky)}$$

$$D = 13 \text{ mm (průměr před obrobením)}$$

$$d = 0 \text{ mm (průměr po obrobením)}$$

$$L = l_n + \frac{D-d}{2} + l_p = 3 + \frac{13-0}{2} + 0,5 = 10 \text{ mm (délka záběru s } l_n \text{ náběhem a } l_p \text{ přeběhem)}$$

$$i = 2 \text{ (počet třísek)}$$

$$f_{ot} = 0,3 \text{ mm (posuv)}$$

$$v_n = 166 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (tabulková řezná rychlost)}$$

$$v_c = v_n \times k_v = 166 \times 0,8 = 133 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (skutečná řezná rychlost)}$$

$$n_s = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{133 \times 1000}{\pi \times 13} = 3258 \text{ min}^{-1} \text{ (otáčky obrobku)}$$

$$T_{as} = \frac{L \times i}{f \times n_s} = \frac{10 \times 2}{0,3 \times 3258} = 0,02 \text{ min}$$

#### 9.5 Vrtání:

$$a_p = 4,5 \text{ mm (hloubka třísky)}$$

$$D_v = 9 \text{ mm (průměr vrtáku)}$$

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 5 + 4 = 12 \text{ mm (délka záběru s } l_n \text{ náběhem a } l_p \text{ přeběhem)}$$

$$i = 3 \text{ (počet děr)}$$

$$f_{ot} = 0,12 \text{ mm (posuv)}$$

$$v_n = 25,2 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (tabulková řezná rychlost)}$$

$$v_c = v_n \times k_v = 25,2 \times 1,15 = 29 \text{ m} \times \text{min}^{-1} \text{ (skutečná řezná rychlost)}$$

$$n_s = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{29 \times 1000}{\pi \times 9} = 1025 \text{ min}^{-1} \text{ (otáčky vrtáku)}$$

$$T_{as} = \frac{L \times i}{f \times n_s} = \frac{12 \times 3}{0,12 \times 1025} = 0,293 \text{ min}$$



## 10 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výnosnost navrhovaného a současného technologického postupu bude zhodnocena porovnáním spotřeby časů a nákladů spojených na obrábění. Současná výroba je 5000ks hřídelů za měsíc. Potřebný čas pro výrobu jedné hřídele 20 minut byl stanoven měřením stopkami za plného provozu. Cena práce takto vyrobené hřídele potom činí 250Kč.

Výpočet nákladů pro navrhovaný technologický postup vychází ze spotřeby času a hodinové sazby na určitý stroj. Jednotlivé sazby jsou uvedeny v tabulce 10.1.

Použité stroje při výrobě	Hodinová sazba $N_{hs} [Kč \cdot \text{hod}^{-1}]$
CNC soustruh sl-50	900
Univerzální hrotová bruska UB 25 CNC	400

tab. 10.1 Hodinové sazby strojů

Spotřebu pracovního času pro výrobu jedné hřídele pak stanovíme součtem dílčích strojních časů soustruhu (tab. 10.2) a brusky (tab. 10.3) vytvořenou podle technologického postupu.

číslo operace	strojní čas [min]	číslo operace	strojní čas [min]
1.02	0,020	1.17	0,045
1.03	0,058	1.181	0,384
1.04	0,015	1.182	0,247
1.051	0,384	1.19	0,032
1.052	0,247	1.20	0,013
1.06	0,032	1.21	0,043
1.07	0,043	1.22	0,061
1.08	0,013	1.23	0,043
1.10	0,094	1.25	0,094
1.12	0,020	1.26	0,023
1.13	0,058	2.02	1,182
1.15	0,015	2.04	1,182
1.16	0,032	2.05	0,293
		$\Sigma$	<b>4,673</b>

tab. 10.2 Výrobní časy na soustruhu

číslo operace	strojní čas [min]
3.02	0,182
3.03	0,182
$\Sigma$	<b>0,364</b>

tab. 10.3 Výrobní časy na brusce

Mezi operacemi, kdy je nástroj v záběru, dochází k prodlevám, jsou způsobeny přísuvy, výměnou nástroje, upnutím a přepínáním obrobku atd. Odhadem tento čas určíme 4 min. pro soustruh a 1 min. pro brusku. Tyto časy by měly být podstatně nižší u strojů s CNC řízením.

Cenu práce na výrobu jednoho hřídele pak vypočteme ze vztahu:

$$\begin{aligned}
 N_h &= \frac{N_{hs-sou}}{60} \cdot (T_{p-sou} + T_{v-sou}) + \frac{N_{hs-brus}}{60} \cdot (T_{p-brus} + T_{v-brus}) \\
 &= \frac{900}{60} \cdot (4,673 + 4) + \frac{400}{60} \cdot (0,364 + 1) \cong 139 \text{ Kč}
 \end{aligned}$$

Při konečném porovnání ekonomičnosti těchto dvou postupů z hlediska ceny obrábění se jeví jako výchozí polotovary lepší výkovek. Abychom zjistili celkovou cenu hřídele pro jednotlivé postupy bylo by zapotřebí stanovit cenu svařování a kování. Za předpokladu, že by se zachoval stávající objem výroby 5000ks za měsíc by technologie kování měla být výhodnější.

## 11 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zhodnotit nového technologického postupu, který nám zajistí, jak vyšší pevnost hřídele, tak i rychlejší a ekonomičtější výrobu. Inovace spočívá jednak ve volbě polotovaru, kde výkovek nahradil tyčový materiál, tak i v použitých strojích a nástrojích.

Před samotnou tvorbou technologického postupu bylo třeba provést rozbor součástí, jak z hlediska konstrukčního, tak i montáže a charakteristiky materiálu včetně její obrobitelnosti. Splněním těchto předpokladů nám zajistí, aby všechny konstrukční plochy byly opracované na potřebnou přesnost a drsnost.

Obrobení hřídele bylo provedeno na CNC soustruhu Johnford model sl-50A . Nástrojová hlava byla osázena celkem šesti nástroji z toho dvěma hnanými (vrták, fréza). Všechny nástroje byly zvoleny z katalogu firmy PRAMET TOOLS, s.r.o. Dokončení ploch pod ložisky bylo provedeno na univerzální hrotové brusce UB 25 CNC.

Při navrhování technologického postupu bylo třeba dbát na přesnou volbu řezných podmínek, což má zásadní vliv na ekonomičnost výroby a trvanlivost VBD. Každá operace obrábění obsahuje řezné podmínky včetně vypočítaného jednotkového strojního času, dále popis, schématický náčrt, použité nástroje a číslo operace.

Závěrem práce je technicko-ekonomické zhodnocení, které nám porovnává cenu stávajícího a navrhovaného obrábění. Při zachování výrobního objemu 5000ks je navrhovaná technologie výhodnější. Navrhovaná technologie má také potenciál ke zvýšení výrobního objemu, jelikož čas výroby jedné hřídele je podstatně nižší.

## 12 POUŽITÁ LITERATURA

[1] MIČKAL, Karel. *Strojnictví: části strojů: pro učební a studijní obory SOU a SOŠ*. Vyd. 1. Praha: Sobotáles, 1995, 220 s. ISBN 80-859-2001-8

[2] DOLEČEK, J. a HOLOUBEK, Z. *Strojnictví I*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. 179 s. ISBN nemá.

[3] TUMLIK. *Neušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli třídy 11, jejich složení a tepelné zpracování*. [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/neuslechtile-uhlikovekonstrukcni-oceli-tridy-11-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>

[4] BRICHTA, J., R. ČEP, J. NOVÁKOVÁ a L. PETŘKOVSKÁ. *Technologie II 1.díl*. Ostrava: Ediční středisko, 2007. s. 126. ISBN 978-50-248-1641-8.

[5] BRICHTA, J., R. ČEP, J. NOVÁKOVÁ a L. PETŘKOVSKÁ. *Technologie II 2.díl*. Ostrava: Ediční středisko, 2007. s. 150. ISBN 978-50-248-1822-1.

[6] *Technologie strojního obrábění*. [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/technologie-strojního-obrabení.pdf>

[7] MRKVICA, M. Přípravky a obráběcí nástroje-I.díl. Řezné nástroje, Ostrava, VŠB. TU, 1989, 132s.

[8] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

[9] MACHINE GROUP S.R.O. *Nové obráběcí stroje* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.machinegroup.cz/johnford/soustruh/SL50.html>

[10] HOL-MONTA, spol. s r.o. *Hrotové brusky: Univerzální hrotové brusky* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.hol-monta.com/cs/univerzalni-hrotove-brusky/ub-25-cnc>

[11] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Soustružení* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/tool.aspx>

[12] Frézování. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD>

[13] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Frézování* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/tool.aspx>

[14] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Vrtání* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/tool.aspx>

### **13 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Dílenský výkres hřídele
Příloha 2	Výkres výkovku hřídele
Příloha 3	CNC soustruh Johnford sl-50A
Příloha 4	Univerzální hrotová bruska UB 25 CNC
Příloha 5	Soustružení
Příloha 6	Frézování
Příloha 7	Vrtání